

21世纪高等院校实验教学改革与创新系列教材

Specialized Courses' Experiment
for Mechanical Engineering

机械工程专业课程实验教程



赵又红 刘金刚

◎ 主编



湘潭大学出版社

21 世纪高等院校实验教学改革与创新系列教材
湘潭大学教材建设基金出版资助

机械工程专业课程实验教程

主 审	周友行		
主 编	赵又红	刘金刚	
副主编	毛美姣	陈小告	吴继春

湘潭大学 出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械工程专业课程实验教程 / 赵又红, 刘金刚主编.
—湘潭 : 湘潭大学出版社, 2015.6
ISBN 978-7-81128-818-6

I. ①机… II. ①赵… ②刘… III. ①机械工程—实
验—高等学校—教材 IV. ①TH-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015)第 121068 号

机械工程专业课程实验教程

赵又红 刘金刚 主编

责任编辑: 王亚兰

装帧设计: 周湘兰

出版发行: 湘潭大学出版社

社 址: 湖南省湘潭市 湘潭大学出版大楼

电话(传真): 0731-58298966 邮编: 411105

网 址: <http://press.xtu.edu.cn>

印 刷: 长沙宇航印刷有限公司

经 销: 湖南省新华书店

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 7.75

字 数: 184 千字

版 次: 2015 年 6 月第 1 版

印 次: 2015 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-81128-818-6

定 价: 16.00 元

(版权所有 严禁翻印)

21 世纪高等院校实验教学改革与创新系列教材

编委会

顾 问：罗和安

主 任：陈小明

副主任：夏智伦 高协平

编委会成员(按姓氏笔画为序)：

朱卫国	刘任任	刘跃进	苏旭平	张 平
张海良	郑金华	钟建新	舒 适	谭援强

总 序

为了提高国家的持续发展能力、综合实力和国际竞争力,党中央、国务院提出构建创新型国家体系、增强自主创新能力的战略,鼓励创造,鼓励创新,特别是鼓励原始创新。创新的关键在人才,人才的成长靠教育。推动教育事业特别是高等教育事业的发展,培养和造就一大批基础扎实、具有创新精神和创新能力的高素质拔尖人才,是构建国家创新体系、建设创新型国家的基础。

正是在这样的背景下,湘潭大学出版社经过精心策划,组织实验教学一线的专家和教师编写了这套“21世纪高等院校实验教学改革与创新系列教材”。实验教学是培养学生创新能力的基本途径,是培养高素质创新人才教学体系的重要组成部分。目前,对作为连接理论与实践的纽带和激发学生发现问题、研究问题、独立解决问题能力的重要环节——实践教学的研究,还显得相对不足;对如何进一步深化实验教学改革,创新实验教学方法、途径,以更好地发挥实验教学对培养学生创新思维与创造技能的平台作用方面的研究与探讨,尚待深入;已出版的实验教材还比较零散,不成体系和规模,高质量、高水平的实验教材建设与实验教学之间还存在一定的差距。随着科技的发展,各种实验手段、实验仪器不断更新,传统实验教学中的许多范例、方法,既不能体现与学科发展相适应的前沿性,也不能体现与产业相衔接的应用性,使许多实验教材严重滞后于实验教学的现实需要和教学改革的进程。要实现创新人才培养的重要目标,必须重视实验教学;而要实现教学目标,达到好的教学效果,则必须以实验教材为基础,必须有好的实验教材作支撑。因此,湘潭大学出版社出版的这套实验教学改革与创新系列教材就非常有意义。

这套教材最大的特点是融入了许多新的实验教学理念和教学方法,引入了新的实验手段与实验方法,尤其是增加了计算机技术在实验中的应用,有利于激发学生的学习兴趣,增强学生对现代高新技术的了解,具有一定的新颖性和前瞻性。教材范围涵盖了物理、化学、计算机、机械等几大传统学科专业,并注意区分了理科和工科教学过程中各自的侧重,做到

了理工交融,也较好地实现了实践性与理论性、基础性与先进性、基本技能与学术视野、传统教学与开放教学的相互结合。好的实验教材既是实验教学成果的直接反映,也是先进的实验教学理念传播的重要载体。相信湘潭大学社出版的这套系列教材,能够为我们提供有益的借鉴,也相信广大教育理论研究者和教师,在不断推进实验教学改革与创新过程中,一定能够探索出新的经验,推出新的成果,编写出更多的精品教材,进一步推广先进的实验教学理念和教学方法,提升实验教学质量与水平,为培养高素质的创新人才,建设创新型国家作出新的贡献。

是为序。

A handwritten signature in black ink, reading '罗和安' (Luo He'an). The characters are stylized and fluid, with the '罗' character being particularly prominent.

2009年3月

前 言

所谓实验,就是根据研究的目的,应用一定的物质手段(实验仪器、设备等),在人为控制的条件下,观察、研究事物在典型环境或特定条件中的本质和规律的一种实践活动。它是人们认识、研究、改造世界的必要手段。

纵观机械的发展和创新,人类从使用原始工具到今天的智能机器人、航天飞机等现代机械,无不经历科学的求索和验证。

实验是理论的源泉、科学的基础、发明的沃土、创新人才的育床。“创新是国家竞争力的核心”,而科技创新的重要手段之一就是实践。由于我国与国外一些先进国家在教育教学方面的主要差距在于实践教学。实践教学是培养学生观察能力、实验研究动手能力、综合设计能力以及培养创新意识与创新能力的极重要教学环节。实践教学中最重要内容就是实验教学,它是加强自学能力、研究能力、动手能力及创新能力的手段。

当代大学生不仅要掌握理论知识,还要在实验教学环节中提升科学素质和综合素质。通过实验环节培养同学们实事求是的科学态度、理论联系实际的工作作风和分析、解决问题的能力。对实践素质和能力要求较高的机械工程专业的大学生来说,实验教学的重要性就不言而喻了。

教育部在《关于加强高等学校本科教学工作提高教学质量的若干意见》中指出:“高等学校要重视本科教学的实验环节”。目前,各高等院校正积极探索新形势下的教育教学模式,推动实验教学改革和创新人才培养体制的建立。实验教学已经从过去验证书本理论、加深对已有理论的理解,过渡到了把实验作为培养学生创新能力的手段。

机械设计制造及其自动化专业的培养目标之一就是培养的人才具备较强的创新精神和工程实践能力,而这些能力的提高主要来自实践教学,其专业主干课(工程测试与信号处理、液压与气动传动、机械工程控制基础、机械制造工艺学等)和专业方向课中的优选课(机电传动与控制、数控技术等)均有很强的实践性和理论性。

本书是根据湘潭大学2013年新制定的本科人才培养方案中机械学科专业规范、培养计划和课程教学大纲、实验教学大纲的要求,结合我校实验教学改革的经验和要求而编写的一本实验教材。教材紧密结合课程实验教学与实验室建设实践,以及实验装备研制开发工作实践,从工程应用角度,介绍了机械设计制造及其自动化专业的专业主干课和专业方向课里优选课程中的实用实验技术。

编者在2009年曾组织老师们编写了《机械基础实验教程》,该书介绍了高等学校机械类及近机类专业本科生的机械基础课程(现代工程图学测绘、工程材料与热处理、机械原理、机械设计、机械制造基础、互换性与技术测量)的实验技术,以及实验的要求和学习方法、实验常用量具和仪器、测量误差与实验数据处理等,在这次编写中这些内容

就不再介绍了。

本书由赵又红、刘金刚担任主编,参加本书编写的老师有:赵又红(第1、4章);毛美姣(第2、6章);刘金刚、谭志飞(第3章);彭锐涛(第5章);杨世平、吴继春、杨湘军、陈小告(第7章)。

本书由周友行教授担任主审。在编写过程中承蒙谭援强教授、刘柏希博士和易芳老师等的帮助和支持,他们提供了很多宝贵的意见,在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平和能力有限,书中难免有错误和不当之处,敬请各位教师和广大读者批评指正,编者不胜感激。

编 者

2015年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机械工程专业课程实验简介及地位和作用	1
1.2 加强专业实验教学改革及措施	2
第 2 章 工程测试与信号处理实验	4
2.1 金属箔式应变片——单臂电桥、半桥、全桥性能实验	4
2.2 电容式传感器的位移特性实验	9
2.3 光电式转速传感器测速实验	12
2.4 霍尔测速实验	13
2.5 磁电式转速传感器测速实验	15
2.6 电涡流传感器的位移特性实验	17
第 3 章 液压与气动传动实验	20
3.1 液压元件的拆装实验	20
3.2 液压基本回路实验	26
3.3 多缸工作控制回路实验	30
3.4 继电器控制的液压回路实验	32
第 4 章 机械工程控制基础实验	34
4.1 概述	34
4.2 实验台简介	35
4.3 典型系统动态性能和稳定性分析实验	36
4.4 典型环节(或系统)的频率特性测量实验	40
4.5 线性系统串联校正实验	43
4.6 采样控制系统动态性能和稳定性分析的混合仿真研究	47
第 5 章 机械制造工艺学实验	50
5.1 切削参数对表面粗糙度的影响实验	50
5.2 加工误差统计分析实验	53
第 6 章 机电传动与控制实验	57
6.1 三相异步电动机点动与连动控制实验	57

6.2	三相异步电动机正反转控制实验.....	60
6.3	PLC 基本指令操作实验	62
6.4	三人抢答器设计实验.....	65
第 7 章	数控技术实验	68
7.1	车削编程与操作实验.....	68
7.2	机床精度快速检测实验	75
7.3	铣削编程与操作实验.....	80
7.4	CAD/CAM 自动编程实验	94
附录		109
参考文献		112

第 1 章 绪 论

1.1 机械工程专业课程实验简介及地位和作用

教育部在《关于加强高等学校本科教学工作提高教学质量的若干意见》中指出：“高等学校要重视本科教学的实验环节”、“开出一批新的综合性、设计性实验”。近年来，高等学校为提高实验教学质量，不断投入人力、财力和物力，进行实验教学课程建设、教材建设、师资队伍建设和实验室建设，并取得了长足的进展。

机械设计制造及其自动化专业的培养目标之一就是培养适应 21 世纪社会主义现代化建设需要，具备较强的创新精神与工程实践能力的人才。要求学生毕业时能达到：① 按照研究需要设计实验，能正确操作实验装置，安全开展实验，并正确采集、整理实验数据；② 参照科学的理论模型对比实验数据和结果，解释实验和理论模型的结果差异。这些能力、要求或目标主要来自实践教学，而实践教学的主要部分就是实验教学。实验教学不能依附于理论教学，但也不能与理论教学完全脱节，实验教学必须以理论教学为基础，以培养学生综合能力与开拓创新能力为目的。

机械工程专业系列课程，如工程测试与信号处理、液压与气动传动、机械工程控制基础、机械制造工艺学、机电传动与控制、数控技术等，是机械类本科教学中的专业主干课程和专业方向课中的优选课程，这些都是实践性和理论性均很强的课程。学习这些课程，可以通过课堂教学、实践操作和综合训练，使学生掌握生产实践方面的基本知识、工艺和基本技能，提高学生的动手能力、分析解决问题的能力 and 创新能力。学得好或坏关系到所培养的机械类人才是否具有面向 21 世纪高层次人才所需的创新能力与素质。上述课程都开设了一定的实验项目，其中有验证性实验、创新性试验和综合性实验。实验教学是课程教学的重要组成部分，和理论教学互为依存，互为补充，共同组成课程的教学环节。它不仅是学生获取知识的必经之路，而且对培养学生的学风和素质、实验工作能力、科学研究能力和创新能力均至关重要。实验教学是帮助加深理解所学课程中的基本概念、验证所学的原理、巩固理论知识、学会基本仪器的使用方法、掌握所开设的实验的实验原理，学到一些基本的实验理论，正确处理实验数据和撰写实验报告的能力。它的重要意义还在于引导学生在科学实验的工作中，掌握基本的实验方法、调试技术、测试技术、数据采集、误差分析及处理等实验技能，培养分析和解决工程实际问题的能力，养成严谨踏实的科学作风和融洽合作的工作作风。

1.2 加强专业实验教学改革及措施

机械类专业课程与工程实际结合极其密切,我们更应该加强实验教学。实验教学改革是一项长期的工作,其教学内容、方式和方法等还有很大的改进和提升空间。专业实验教学改革要瞄准实验的先进性、创造性和实践性。

(1) 实验教学观念的改革。

首先,实验教学改革,观念改革是先导。科学的、先进的实验教学观念,是引导实验教学健康发展的重要思想基础。在传统的教学观念中,实验教学仅被看做是理论教学的附属品。实际上,实验教学与理论教学同等重要、联系密切。实验教学的设计必须以学科知识体系为平台,以培养学科实验方法和技能为目标。理论教学的目的是帮助学生构建知识结构和认知结构,它离不开实验和实践的体验以及加深理解。

其次,传统实验与创新实验协同开展。由于传统验证性实验在帮助学生理解原理或工作特性方面具有重要作用,因此,在实验教学的改革与发展过程中依然需要保留传统验证性实验项目。但是,从实验教学改革与发展的大势出发,在传统实验教学基础上还必须进行实验教学创新。

(2) 适应相关学科和工业技术的发展,丰富实践教学内容。

随着课程结构与教学内容的不断更新及当前工业技术和学科的不断发展和进步,实验教学也应与时俱进。教师要进一步加强科学研究和教学实验的渗透,可以将科研中新的研究成果,经过适当地提炼和加工,转变为相应的本科生教学实验。增强联系工程实际的综合性实验,可以以工程实际问题为牵引来展开。

(3) 结合人才培养目标,研究和开发各种层次的实验内容和组织方式。

实验内容层次递进,由基本技能训练项目到综合实验项目,再延伸到紧密结合专业前沿和地方经济建设的创新设计研究项目。根据各校的具体情况,在验证性实验的基础上,不断增加设计性、创新性、综合性实验项目,同时增强研究型实验教学,让学生在实验中自主设计、自主实现,以培养学生的综合性设计能力和实验技能。增强联系工程实际的综合性实验,可以以工程实际问题为牵引来展开。

在实验教学中,改变完全由教师设计、安排的传统实验授课方式,探索由有能力的学生自由设计实验项目,自主提出主动进行实践探索的实验教学方式。

实验室实施开放式管理,提供全天候服务。这样有利于实验室资源的充分利用、激发学生的学习热情。实验室的开放可以是教学计划内的实验项目开放和课外实验开放。

(4)在实验教学中,将计算机技术和网络技术与现代实验技术相结合,将虚拟实验与综合实验有机融合。开发、研制网络平台,充分发挥互联网的优越性,实验资源共享、共同协作、相互融合。学生实验不受时间和空间的限制,每个人都得到更多的实践机会。提高学生学习与探索的积极性。

(5) 实验设备和手段的先进性。

有些实验设备陈旧,实验手段落后,不能反映当代实验技术的发展。目前,各高校在“中央财政支持地方高校实验建设”等项目的支持下,更新和增加了实验设备,改变了传统实验因设备有限而造成一人操作、多人观看的不足,保证新的实验的实施,使学生得到科学教育。

(6)除了选择教学理念先进、技术设计一流的实验设备外,还要按照“科学实验”、“绿色实验”的要求合理布局,为实验教学提供一种人机和谐的实验环境,注重人文教学的环境建设。

(7)同一实验台上,同时操作人数不宜超过5人,以保证每个学生都能动手操作。实验完成后,每个学生要写出实验报告,并根据在实验过程的表现和实验报告质量评定成绩。实验成绩作为课程成绩的一部分。

通过以上这些措施,培养学生能力与素质,提高实验教学的质量。

第 2 章 工程测试与信号处理实验

工程测试与信号处理课程是机械设计制造及其自动化专业的一门专业主干课。通过系统讲授测试系统的基本理论和方法,使学生掌握测量误差的性质预处理、信号分析基础、测试系统的基本特性、信号采集与数字信号处理、典型传感器与测量电路、微机在测试中的应用、常用的物理量的动态测试方法等内容,为进一步开展相关领域的学习和科研打下良好的基础。

课程中开设了一定的实验项目。通过实验,培养学生初步具备工程测试技术的实际工作能力、正确处理实验数据的能力、运用所学的理论解决实际问题的能力、分析和综合实验结果的能力。

实验教学内容及要求如下:

- (1) 了解常用传感器的性能和特点。
- (2) 熟悉电阻应变片的种类、灵敏度、组桥方法和常用粘贴技术。
- (3) 掌握静态应变的测量方法和仪器。
- (4) 掌握动态测试系统的仪器和测量方法。
- (5) 掌握金属箔式应变片的应变效应;理解半桥、单臂电桥和全桥测量电路的特点和差异。
- (6) 了解电容式、磁电式、霍尔式、光电式及电涡流式传感器的基本原理和特性等。

2.1 金属箔式应变片——单臂电桥、半桥、全桥性能实验

2.1.1 实验目的

1. 了解金属箔式应变片的应变效应。
2. 掌握单臂电桥、半桥和全桥的工作原理和性能。
3. 比较单臂电桥、半桥和全桥的性能(灵敏度和非线性度)。

2.1.2 实验设备

CSY2000 型和 CSY3000 型传感器与检测技术实验台,应变片实验模板,20 g 砝码 10 个,托盘,±2 ~ ±10 V(步进可调),±15 V 电源,电压表,万用表,导线。

2.1.3 实验原理

电阻应变片也称电阻应变计,简称应变片或应变计,它可将机械构件上应变的变化转换为电阻变化。当电阻丝在外力的作用下发生机械变形时,其电阻值会发生变化,这就是电阻的应变效应,描述电阻应变效应的关系式为:

$$\Delta R/R = K \cdot \epsilon \quad (2-1)$$

式中, $\Delta R/R$ 为电阻丝的电阻变化率; K 为材料的应变灵敏系数; ϵ 为测量点处的应变, 是电阻丝长度的相对变化率, $\epsilon = \Delta l/l$ 。

金属箔式应变片就是在合金箔(康铜箔或镍铬箔)的一面涂胶形成胶底, 然后在箔面上通过光刻、腐蚀等工艺制成的应变敏感元件。通过它将被测部位的机械变形转换为电阻的变化, 然后通过电桥的作用转换为电桥输出电压的变化。电桥的输出电压与应变 ϵ 成正比, 单臂电桥、半桥和全桥时输出电压可以分别表示为:

$$U_{01} = EK\epsilon/4 \quad (2-2)$$

$$U_{02} = EK\epsilon/2 \quad (2-3)$$

$$U_{03} = EK\epsilon \quad (2-4)$$

2.1.4 实验内容

使用应变式传感器实验模板、应变式传感器、砝码、数显表、 $\pm 15\text{ V}$ 电源、 $\pm 4\text{ V}$ 电源、万用表完成单臂电桥、半桥和全桥实验, 并掌握其工作原理。

2.1.5 实验步骤

如图 2-1 所示, 应变式传感器已经安装在应变传感器实验模板上。应变式传感器中的 4 片应变片分别已接入实验模板左上方的 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 , $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 350\ \Omega$ 。

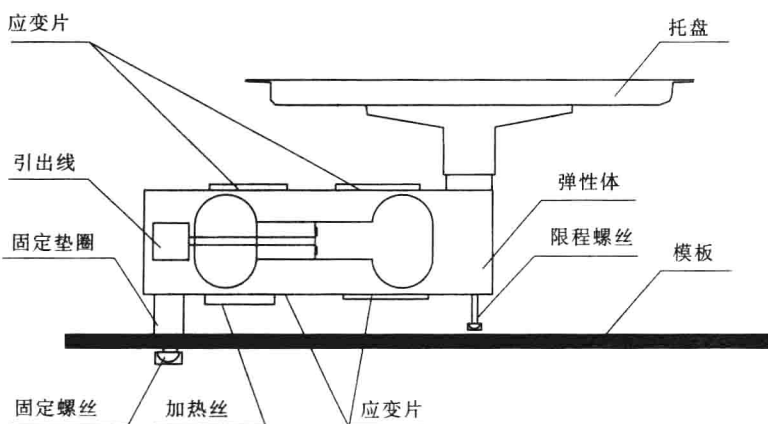


图 2-1 应变式传感器安装示意图

1. 接入模板电源 $\pm 15\text{ V}$ (从主控台引入), 检查无误后, 合上主控箱电源开关。
2. 将实验模板调节增益电位器 R_{w3} 顺时针调节到大致中间位置。
3. 如图 2-2 所示, 将差动放大器的正、负输入端短接, 输出端与主控箱面板上数显表电压输入端 V_{in} 相连, 调节实验模板上调零电位器 R_{w4} , 使数显表显示为零(数显表的切换开关拨到 2 V 挡)。注意: 当 R_{w3} 、 R_{w4} 的位置一旦确定, 就不能改变, 一直到做完实验为止。
4. 如图 2-3 所示, 将应变式传感器的其中一个应变片 R_1 (即实验模板左上方的 R_1) 接入电桥作为一个桥臂与 R_5 、 R_6 、 R_7 接成单臂电桥(R_5 、 R_6 、 R_7 模块内已连接好), 接好电桥调零电位器 R_{w1} , 接上桥路电源 $\pm 4\text{ V}$ (从主控箱引入)。检查接线无误后, 合上主控箱电源开关。调节 R_{w1} , 使数显表显示为零。

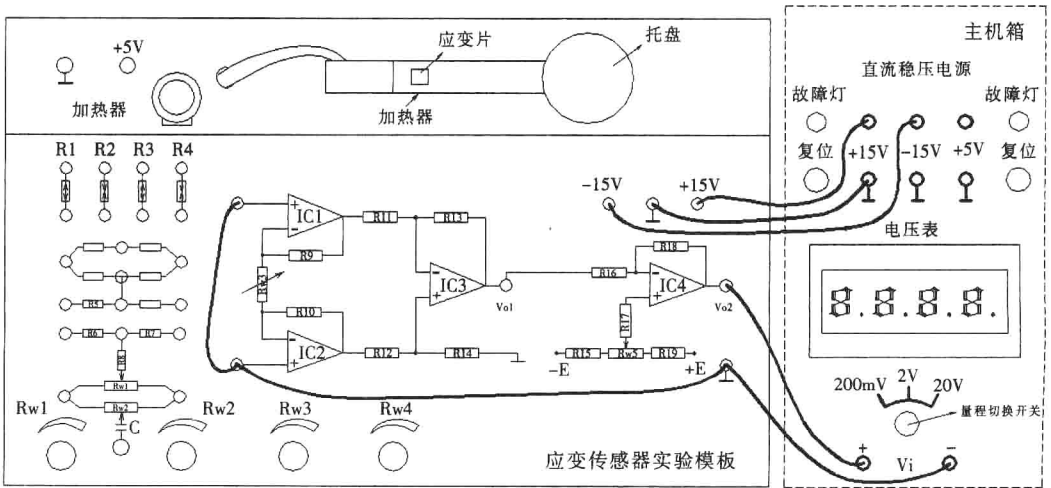


图 2-2 差动放大器调零接线示意图

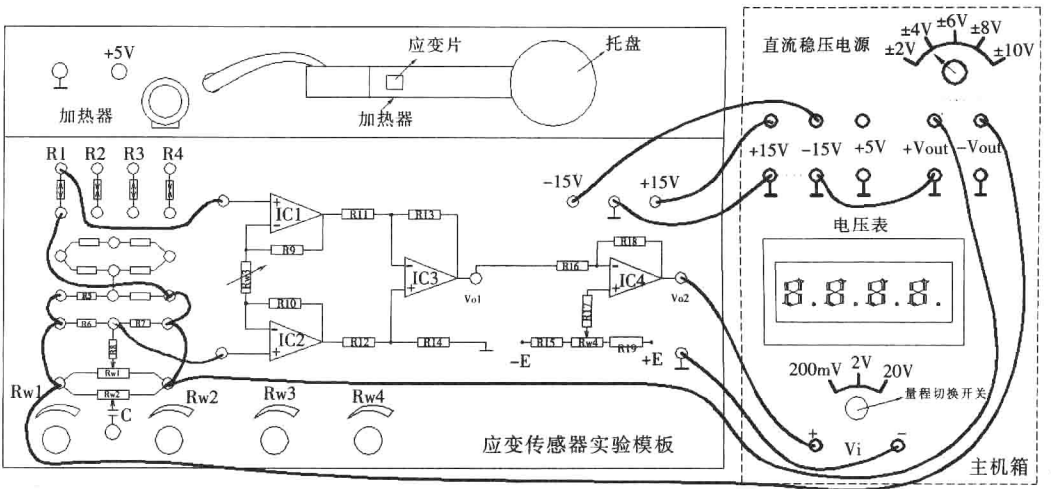


图 2-3 应变式传感器单臂电桥实验接线图

5. 在电子秤上放置一只砝码,读取数显表数值,依次增加砝码和读取相应的数显表值,记下实验结果填入表 2-1,直到 200 g 砝码加完,关闭电源。

表 2-1 输出电压

重量 /g	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
单臂输出电压/mV										
半桥输出电压/ mV										
全桥输出电压/mV										

6. 如图 2-4 所示,将应变式传感器的应变片 R_1 和 R_2 接入电桥,与 R_6 、 R_7 接成半桥。注意: R_2 应与 R_1 受力状态相反,即将传感器中两片受力相反(一片受拉、一片受压)的电阻应

变片作为电桥的相邻边。接好电桥调零电位器 R_{w1} ，接上桥路电源 $\pm 4\text{ V}$ (从主控箱引入)。检查接线无误后，合上主控箱电源开关。调节 R_{w1} ，使数显表显示为零。

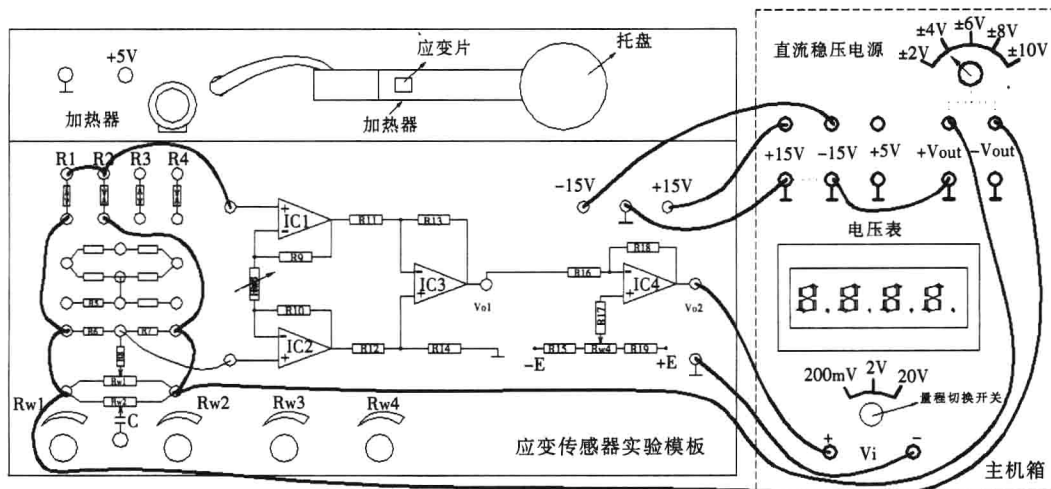


图 2-4 应变式传感器半桥实验接线图

7. 在电子秤上放置一只砝码，读取数显表数值，依次增加砝码和读取相应的数显表值，记下实验结果填入表 2-1，直到 200 g 砝码加完，关闭电源。

8. 如图 2-5 所示，将应变式传感器的应变片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 接入电桥，组成全桥。接好电桥调零电位器 R_{w1} ，接上桥路电源 $\pm 4\text{ V}$ (从主控箱引入)。检查接线无误后，合上主控箱电源开关。调节 R_{w1} ，使数显表显示为零。

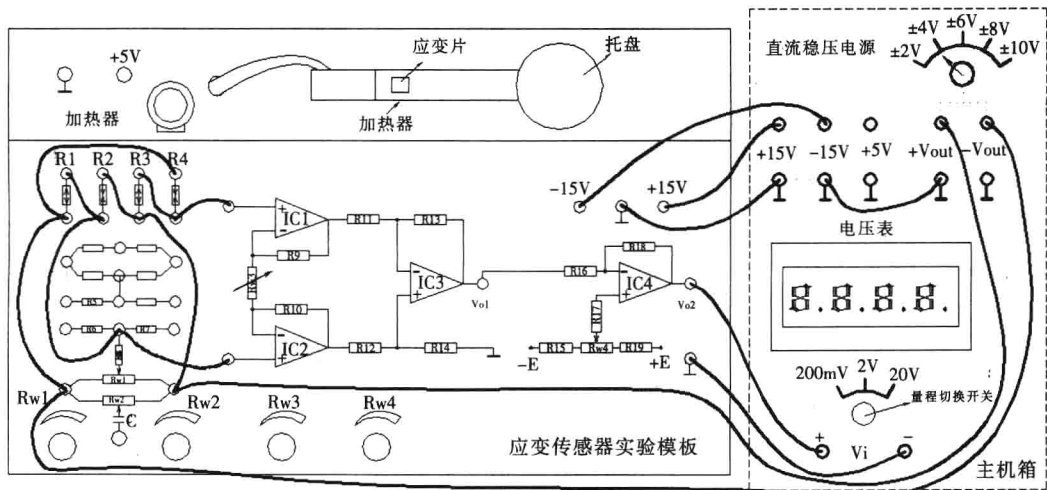


图 2-5 全桥性能实验接线图

9. 在电子秤上放置一只砝码，读取数显表数值，依次增加砝码和读取相应的数显表值，记下实验结果填入表 2-1，直到 200 g 砝码加完，关闭电源。

2.1.6 实验报告要求

1. 报告中说明实验的目的和意义。